

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование. 2-е изд., доп. и перераб. — М.: Недра, 1982. — 344 с.
2. Сейсморазведка. Справочник геофизика / Под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова. — М.: Недра, 1981. — 464 с.
3. Речкин М.С. Алгоритм оценки скоростного закона по данным ВСП // Молодежь и современные информационные технологии: Сбо. трудов VII Всеросс. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых — Томск, 25–27 февраля 2009. — Ч. 1. — Томск: Изд-во «СПб Графикс», 2009. — С. 179–180.

Поступила 29.10.2009

УДК 622.276.05-192:519.6

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ СЕКЦИИ ВИНТОВОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

К.В. Сызранцева, В.А. Аришин

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень
E-mail: kv.syzr@gmail.com

Проведен прочностной конечно-элементный анализ двигательной секции винтового забойного двигателя в программном комплексе ANSYS. Подробно описаны все этапы анализа. Приведены результаты оценки напряженно-деформированного состояния ротора и статора, а также картины распределений контактных давлений между ними, необходимые для оценки работоспособности двигателя. Показано изменение распределений контактных давлений для двигателей с изношенным статором, приводящее к нарушению условия герметичности рабочих камер.

Ключевые слова:

Винтовой забойный двигатель, компьютерный анализ, метод конечных элементов, ANSYS, напряженно-деформированное состояние, контактные давления.

Key words:

Screw downhole motor, computer analysis, finite element method, ANSYS, stress-strain state, contact pressures.

Бурение скважин необходимо для изучения геологической структуры и свойств горных пород, а также для добычи жидких и газообразных полезных ископаемых. Процесс бурения заключается в постепенном углублении ствола скважины путем разрушения горных пород долотом с одновременным выносом жидкостью или газом выбуренной породы по затрубному пространству на поверхность.

Винтовые забойные двигатели (ВЗД) играют заметную роль в буровой технике и технологии последних десятилетий. С усложнением в последнее время буровых работ и работ по ремонту скважин (горизонтальное бурение, разбуривание дополнительных стволов в пробуренной скважине) и использованием технологий с применением гибкой трубы, роль винтовых забойных двигателей ввиду своих уникальных характеристик постоянно возрастает [1].

Уникальность характеристик ВЗД заключается в том, что при своей простоте конструкции и относительно небольших размерах они обладают высоким крутящим моментом на низких оборотах, а это необходимо для более качественного и экономически выгодного бурения. К тому же ВЗД имеют высокий КПД по сравнению с другими гидравлическими двигателями.

При всех своих достоинствах винтовые забойные двигатели обладают одним существенным недостатком — быстрым износом рабочих органов и, соответственно, недостаточно большим ресурсом работы.

Конструкция двигателя предусматривает несколько основных частей: двигательная секция, шпиндельная секция, переливной клапан, гибкий вал, переводники.

Двигательная секция состоит из ротора и статора, поперечные сечения которых изображены на рис. 1. Стальной статор имеет внутри привулканизированную резиновую обкладку с винтовыми зубьями, на стальном роторе нарезаны наружные зубья, причем число зубьев ротора на единицу меньше числа зубьев статора. Специальный профиль зубьев ротора и статора обеспечивает непрерывный контакт между собой, образуя на длине шага статора единичные рабочие камеры [2].

Ротор, совершая планетарное движение, поворачивается по часовой стрелке, в то время как геометрическая ось ротора перемещается относительно оси статора против часовой стрелки. За счет разности в числах зубьев ротора и статора переносное движение редуцируется в абсолютное с передаточным числом, равным числу зубьев ротора, что обеспечивает сниженную частоту вращения и высокий крутящий момент на выходе.

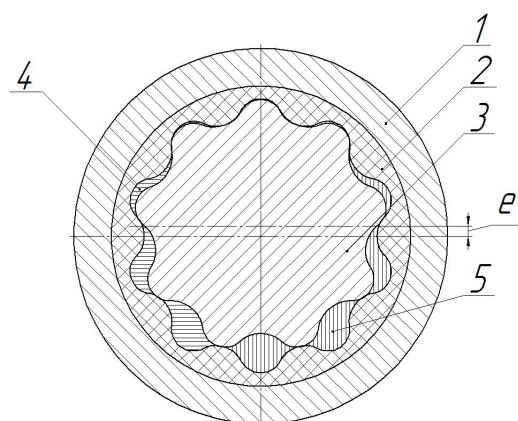


Рис. 1. Поперечный разрез двигателя: 1) корпус статора; 2) обойма статора; 3) ротор; 4) камеры низкого давления; 5) камеры высокого давления

Согласно основным принципам работы ВЗД необходимым условием для его функционирования является непрерывность контактных линий, обеспечивающая герметичность камер высокого и низкого давления. Это условие достигается за счет начального диаметрального натяга в паре ротор-статор и в процессе эксплуатации двигателя в результате износа рабочих органов перестает выполняться. Основным критерием расчета рабочих органов ВЗД является износостойкость, оцениваемая по контактным напряжениям между поверхностями ротора и статора [3].

Поскольку используемая для расчета контактных напряжений формула Герца дает лишь численное значение напряжений в центре площадки контакта и не позволяет получить общую трехмерную картину распределения контактных давлений в рабочих органах, необходимую для анализа герметичности шлюзов, для решения данной задачи целесообразно воспользоваться численным методом. Наиболее широкими возможностями для решения пространственных контактных задач обладает ме-

тод конечных элементов, реализованный в программном комплексе ANSYS [4].

Конечно-элементный анализ двигательной секции ВЗД включает *пять* этапов [5].

На *первом* этапе выполняется построение геометрической модели, в данном случае, в пакете трехмерного моделирования Компас-3D. Исходный профиль рабочих органов (ротора и статора) образуется при перекачивании без скольжения окружности радиуса r по направляющим окружностям соответствующего радиуса, причем, точка, образующая исходный контур, находится внутри катящейся окружности на расстоянии эксцентриситета e от ее центра [6]. Далее при помощи выдавливания полученных профилей вдоль винтовой линии генерируются объемные модели деталей. Причем для последующего упорядоченного разбиения деталей на конечные элементы каждая деталь разделена вспомогательными поверхностями на объемы, ограниченные шестью поверхностями и включающие только один зуб [7]. Для примера на рис. 2 представлены геометрические модели рабочих органов ВЗД. С целью сокращения объема требуемой оперативной памяти для решения задачи ротор выполнен полым.

На *втором* этапе производится разбиение импортированной из пакета Компас-3D в конечно-элементный пакет ANSYS геометрической модели. Для описания ротора используются элементы типа SOLID95, статора – элементы типа SOLID186, поддерживающие свойства гиперэластики, свойства материала статора – резине. Для материала элементов ротора указаны свойства стали. Рис. 3 иллюстрирует конечно-элементные модели ротора и статора.

Для описания контактной задачи создаются контактные пары. Поскольку каждый зуб ротора находится в контакте только с одним зубом статора, кроме двух зубьев, находящихся в «мертвой точке» (во впадинах статора), в сборочной конструкции ротор-статор имеется 10 контактных пар. Статор посажен с натягом, поэтому в свойствах контактных пар ука-

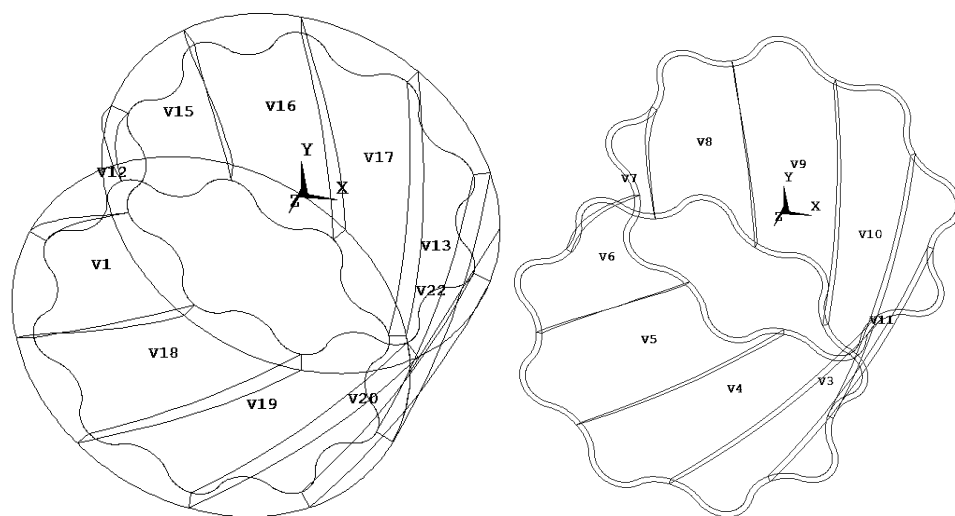


Рис. 2. Геометрические модели статора (слева) и ротора (справа)

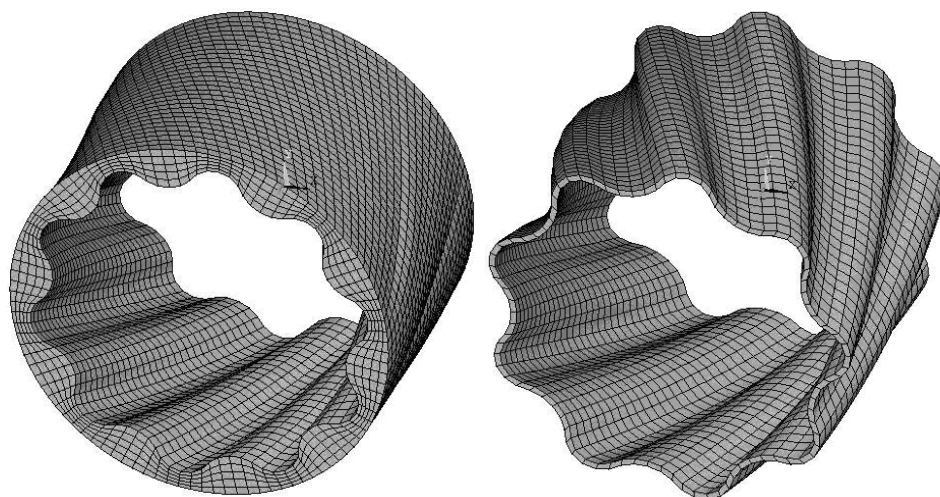


Рис. 3. Конечно-элементные модели статора (слева) и ротора (справа)

зывается начальное проникновение (initial penetration). Для надежного исключения взаимного проникновения контактирующих поверхностей создаются симметричные контактные пары [8].

Третий этап анализа – задание граничных условий. На внешних поверхностях статора, которые согласно конструкции двигателя привулканизованы к металлическому корпусу, указана жесткая заделка. Также запрещены все перемещения на внутренних поверхностях ротора ввиду принятых в расчетной схеме упрощений, поскольку модуль упругости стали на несколько порядков превосходит модуль упругости резины, а значит вызванные диаметральной натягом деформации будут незначительными. На торцевых поверхностях ротора и статора задаются условия симметрии.

На четвертом этапе выполнения анализа происходит запуск решателя. Для решения данной задачи используется прямой решатель (SPARSE SOLVER), используемый ANSYS по умолчанию [8]. Поскольку расчетная схема была максимально конкретизирована и оптимально сформулирована применительно к методу конечных элементов, при поиске решения нелинейной контактной задачи не потребовалось изменять опции решателя.

Пятый этап предусматривает анализ полученных результатов и оценку критериев работоспособности рабочих органов ВЗД.

Как видно из рис. 4, линии контакта не прерываются, что подтверждает герметичность шлюзов и отсутствие перетоков. Максимальное контактное давление приходится на место контакта впадины

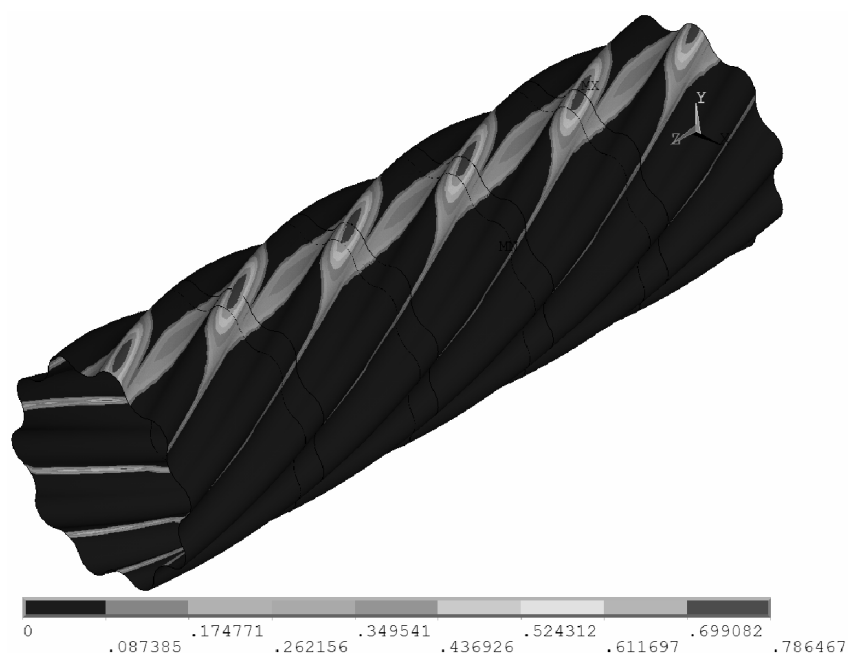


Рис. 4. Распределение контактных напряжений в паре ротор-статор

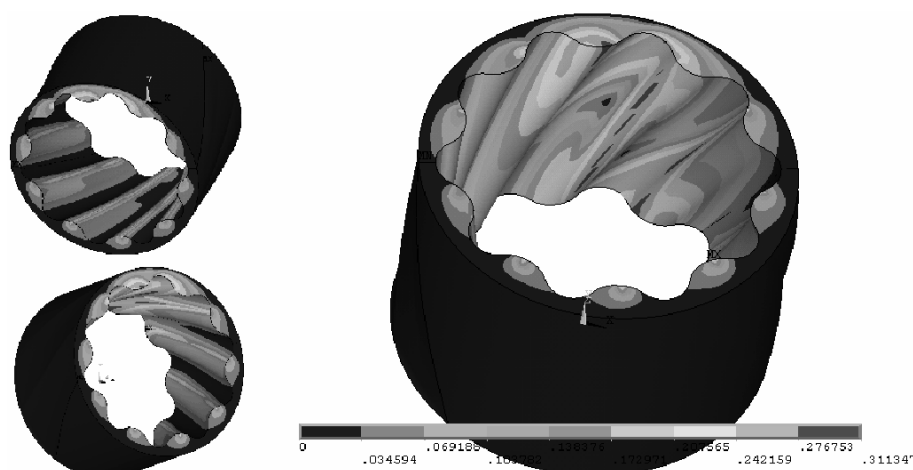


Рис. 5. Распределение суммарных перемещений в статоре ВЗД

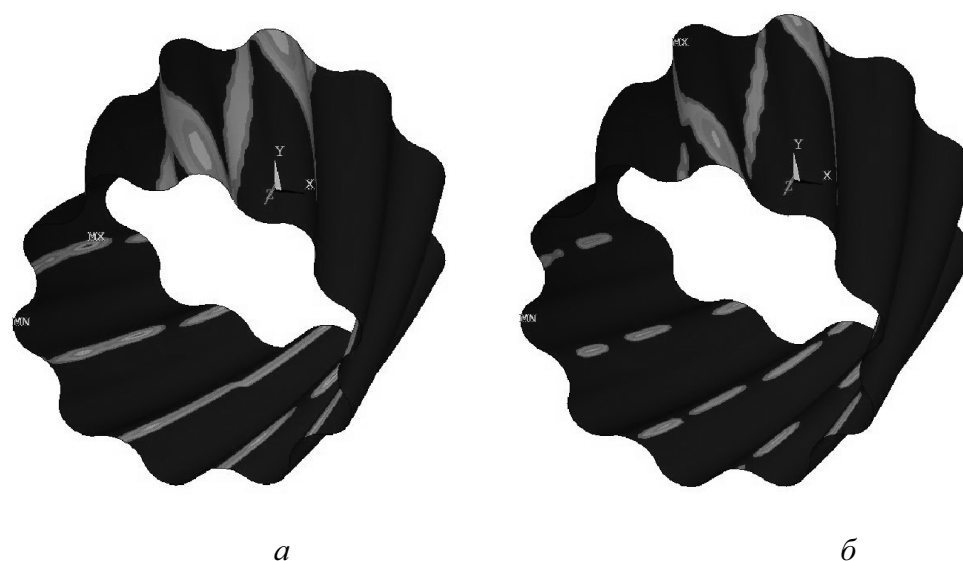


Рис. 6. Распределение контактных давлений между ротором и изношенным статором. Диаметральный натяг: а) 0,45; б) 0,15 мм

статора с зубом ротора и составляет 0,786 МПа. Максимальные перемещения составляют 0,31 мм, что примерно соответствует половине заложенного диаметрального начального натяга в 0,6 мм (рис. 5).

Изложенный метод оценки напряженно-деформированного состояния наиболее ответственных деталей винтовых забойных двигателей – ротора и статора, а также анализ контактов их поверхностей позволяет рассматривать различные модели как новых, так и изношенных в процессе эксплуатации двигателей с целью проверки их работоспособности и последующего прогноза ресурса. Так, на рис. 6 приведены картины распределения контактных давлений в изношенной паре ротор-статор, когда величина диаметрального натяга в результате износа статора уменьшилась до 0,45 мм (рис. 6, а) и 0,15 мм (рис. 6, б).

На рисунках хорошо видно, что контактные линии терпят разрыв, что приводит к нарушению герметичности рабочих камер, и как следствие, к потере работоспособности двигателя.

Выполняемые с целью продления сроков службы способы модернизации и оптимизации роторов также могут быть смоделированы с использованием предложенного подхода.

Выводы

1. В программном комплексе ANSYS проведен прочностной конечно-элементный анализ двигательной секции винтового забойного двигателя.
2. Приведены результаты оценки напряженно-деформированного состояния ротора и статора, получены распределения контактных давлений между ними, необходимые для оценки работоспособности двигателя.
3. Показано изменение распределений контактных давлений для двигателей с изношенным статором, приводящее к нарушению условия герметичности рабочих камер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Одновинтовые Гидравлические машины: В 2 т. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. – Т. 1. Одновинтовые насосы. – 488 с.
2. Двигатель винтовой забойный Д1-195. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Бердичев: Типография завода «Прогресс», 1985. – 30 с.
3. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Одновинтовые Гидравлические машины: В 2 т. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – Т. 2. Винтовые забойные двигатели. – 470 с.
4. Лицензионное соглашение между ANSYS Inc и ТюмГНГУ от 1.02.2008 на программный продукт ANSYS Academic Teaching Introductory (25 tasks), версия 11 SP1, номер пользователя 340011.
5. Сызранцева К.В. Компьютерный анализ нагруженности и деформативности элементов нефтегазового оборудования. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 124 с.
6. Сызранцева К.В., Аришин В.А. Расчет напряженно-деформированного состояния статора винтового забойного двигателя // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: Матер. III Междунар. конф. – Тюмень, 2008. – С. 95–96.
7. Сызранцева К.В., Аришин В.А., Дыкун П.А., Сапрыгин А.В. Методика оценки работоспособности винтового забойного двигателя в программном комплексе ANSYS // Современные технологии для ТЭК Западной Сибири: Сб. научн.тр. – Тюмень, 2009. – С. 317–321.
8. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженера: Справочное пособие. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.

Поступила 30.06.2009 г.

УДК 519.688:53.083.98

АЛГОРИТМ СИНХРОНИЗАЦИИ ХРОНОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ

Ю.В. Волков, В.А. Тартаковский

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

E-mail: tv@imces.ru

На примере датировки изотопных хронологий ледниковых кернов по известным древесно-кольцевым изотопным хронологиям рассмотрен алгоритм восстановления временных периодичностей сигналов.

Ключевые слова:

Биоиндикация, дендрохронология, годовичные кольца, сезонный рост, математическая модель, анализ сигналов, датировка.

Key words:

Bioindication, dendrochronology, tree rings, seasonal growth, mathematical model, signal analysis, dating.

Введение

В силу отсутствия прямых измерений традиционных характеристик климата до определенного момента времени и для определенной территории актуальна возможность восстановления данной информации из природных объектов, являющихся индикаторами климатических изменений. Длительные ряды биоиндикационных данных создают объективные основы для ретроспективного анализа и прогноза таких изменений.

Важной задачей при восстановлении хронологий параметров климата является установление временных границ и периодичностей. Биоиндикационные ряды не всегда имеют четкие границы между отдельными годами, присутствует также временное смещение информации, обусловленное различными природными процессами и особенностями индикатора. Для привязки соответствующего отрезка хронологии к временной шкале прибегают к датировке различными естественнонаучными методами.

В данной статье искаженную в результате физических особенностей и природных процессов, по-

лученную из кернов льда, изотопную $\delta^{18}\text{O}$ -хронологию синхронизируют с длительной изотопной древесно-кольцевой $\delta^{18}\text{O}$ -хронологией, которая привязана к временной шкале с точностью до года. Особенность данного метода в том, что он дает возможность непрерывного датирования рядов данных на всем временном интервале эталонного ряда.

Изотопы кислорода фиксируются в древесине годовичных колец, в слоях ледников, а отношение их концентраций зависит от температуры воздуха. В результате, уникальную информацию о характеристиках климата, в том числе и о химическом составе атмосферы, минеральных и органических осадках и др. за прошлые столетия, которая содержится в ледовых кернах, становится возможным точно сопоставлять во времени и прогнозировать.

Постановка задачи

Изотопные данные используются в виде $\delta^{18}\text{O} = 10^3(R_p - R_{\text{SMOW}})/R_{\text{SMOW}} \text{‰}$, отражающем соотношение изотопов в пробе древесины, $R_p = (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_p$, по отношению к стандарту SMOW (Standard Mean Ocean Water), $R_{\text{SMOW}} = (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}$.